

Trabajo Fin de Grado

ADAPTACIÓN DEL PILARETE Y AMARRE DE UNA PALA
FRONTAL AGRÍCOLA

MEMORIA DESCRIPTIVA (1/2)

Autor/es

OSCAR GURRÍA SEVILLA

Director/es

MIGUEL LÓPEZ PÉREZ

Ponente/s

JOSÉ MARÍA CÓZAR BARTOS

ESCUELA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
(UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA)

Año 2014

ADAPTACIÓN DEL PILARETE Y AMARRE DE UNA PALA FRONTAL AGRÍCOLA

RESUMEN

El presente trabajo fin de grado consiste en un estudio para el rediseño de algunos de los elementos que componen una pala frontal agrícola debido a un cambio en la normativa europea de emisiones de gases a la atmósfera tras la combustión en los motores diésel agrícolas. Este cambio implica modificaciones en la estética exterior de los tractores, lo que hace necesario cambiar el diseño de sus implementos frontales.

Este trabajo se compone de dos partes diferenciadas:

- En primer lugar se realiza un estudio de la evolución de la normativa de emisiones de gases a la atmósfera de los vehículos extraviarios y de las tecnologías alternativas para cumplir la normativa actual implantada a principios del año 2014. Se exponen aquellas que han sido elegidas por las principales marcas de tractores agrícolas.

Tras dicho estudio se ve necesario un cambio en el diseño de la pala frontal agrícola debido a las modificaciones exteriores que implica una de las tecnologías elegida por varios fabricantes de tractores.

- La segunda parte consiste en el diseño en 3D de todos y cada uno de los elementos que forman la pala, en concreto un modelo perteneciente al fabricante Maq. Agrícola El León, empresa con la cual se lleva a cabo este proyecto y que proporciona todo el material necesario para su realización, con el fin de conseguir los siguientes objetivos:
 - o Integración de SolidWorks como herramienta de CAD / CAE.
 - o Comprobar, a través del cálculo en SolidWorks Simulation, que las nuevas piezas que sustituyen a las anteriores, los cálculos analíticos realizados, las diferentes hipótesis y las condiciones del diseño sean correctas y el nuevo diseño sea estable estructuralmente.

La utilización de SolidWorks como herramienta de diseño permite tener una idea más visual de cómo funciona la pala, así como las restricciones de movimientos y la manera de transmisión de fuerzas de unos elementos a otros.

ÍNDICE

1.	ASPECTOS GENERALES	1
1.1.	CONTEXTO	1
1.2.	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO	1
1.3.	OBJETIVOS	2
2.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.1.	INFORMACIÓN GENERAL SOBRE CONTAMINACIÓN EN MACI's	3
2.2.	NORMATIVA DE EMISIONES VEHÍCULOS AGRÍCOLAS: EVOLUCIÓN	4
2.3.	LAS DOS ALTERNATIVAS ACTUALES	8
2.3.1.	REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA (SCR, SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION)	8
2.3.2.	RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE (EXHAUST GAS RECIRCULATION, EGR)	11
2.3.3.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA SISTEMA	12
2.4.	SOLUCIONES ADOPTADAS POR LOS FABRICANTES	14
2.5.	ORIGEN DEL PROBLEMA PARA AUXILIARES	15
3.	CASO DE LA PALA AGRÍCOLA	16
3.1.	DEFINICIÓN DE PALA CARGADORA AGRÍCOLA.....	16
3.2.	HISTORIA DE LA PALA AGRÍCOLA	17
3.3.	NECESIDADES DEL USUARIO	18
3.3.1.	CUCHARA O HERRAMIENTA	18
3.4.	FABRICANTES	19
3.4.1.	FABRICANTE SELECCIONADO	20
3.5.	MODELO SELECCIONADO PARA EL ESTUDIO	21
3.5.1.	DESPIECE DEL MODELO SELECCIONADO	21
3.5.2.	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	23
3.5.3.	ESPECIFICACIONES DEL PROBLEMA	24
3.5.4.	NUEVOS ELEMENTOS. SOLUCIÓN ALTERNATIVA PROPUESTA	25
4.	CONCLUSIONES	33
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema escape con SCR (Massey Ferguson).....	9
Figura 2. Sistema completo SCR (Fendt).....	10
Figura 3. Motor completo John Deere con EGR.....	11
Figura 4. DOC + DPF.....	12
Figura 5. Massey Ferguson 7615.....	15
Figura 6. Tractor Lanz Bulldog.....	15
Figura 7. Pala El León.....	17
Figura 8. Pala El León mod. 20.000.....	17
Figura 9. Pala El León mod. 410E (Serie Europa, actual modelo en venta).....	18
Figura 10. Cuchara de áridos.....	19
Figura 11. Cuchara de cereal.....	19
Figura 12. Horquilla pacas redondas.....	19
Figura 13. Pinza forestal.....	19
Figura 14. Horquilla de desensilar.....	19
Figura 15. Primeros implementos y maquinaria El León.....	20
Figura 16. Primera pala El León.....	20
Figura 17. Despiece pala agrícola.....	21
Figura 18. Esquema medidas pala.....	23
Figura 19. Depósito y filtro Massey Ferguson 7615.....	24
Figura 20. Amarre pala 410E en Massey 7615.....	24
Figura 21. Pala Fendt.....	25
Figura 22. Amarre El León.....	25
Figura 23. Esquema pala 410E antiguo pilarete.....	27
Figura 24. Esquema pala 410E nuevo pilarete.....	27
Figura 25. Pilaretes nuevo y antiguo.....	28
Figura 26. Perfil nuevo amarre.....	29
Figura 27. Perfil antiguo amarre.....	29
Figura 28. Amarre Claas Arion 410.....	29
Figura 29. Amarre Fendt Vario 310.....	29
Figura 30. Chapa principal adaptada.....	30
Figura 31. Amarre Claas Arion 410 adaptado.....	30
Figura 32. Conjunto de amarre + pilarete antiguo/nuevo.....	30
Figura 33. Tractor Claas Arion 410 con pala El León 410 E.....	31
Figura 34. Comparación pala completa.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Restricciones Tiers I y II según potencia.</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 2. Restricciones Tiers III y IV según potencia.</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 3. Evolución Tiers.</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 4. Medidas características palas El León.</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 5. Tiempos elevación y volteo palas El León.</i>	<i>23</i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1. Datos contaminación.</i>	<i>3</i>
<i>Gráfico 2. Evolución Tiers.</i>	<i>6</i>
<i>Gráfico 3. Evolución emisiones y carburante.</i>	<i>7</i>

1. ASPECTOS GENERALES

1.1.CONTEXTO

Debido a los recientes cambios experimentados en la normativa europea de emisiones de gases a la atmósfera de los vehículos extraviarios, los fabricantes de tractores agrícolas se han visto obligados una vez más a desarrollar nuevas tecnologías para su cumplimiento. Algunas de ellas, incorporan nuevos elementos modificando su estética exterior lo que lleva a su vez a los fabricantes de implementos a modificar en parte el diseño de sus productos tratando de adaptarse.

Para un estudio en detalle es necesario analizar la evolución temporal de la normativa y de las nuevas tecnologías propuestas por los distintos fabricantes. La adopción de estas nuevas tecnologías modifica en parte el frontal del tractor y por tanto impiden un acople correcto de todos los implementos frontales agrícolas existentes hasta ahora. En este caso, el estudio se centra en un único implemento: la pala o cargador frontal agrícola, que necesita el rediseño de alguno de sus elementos.

1.2.DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

Este trabajo se ha realizado de forma conjunta con la empresa Maquinaria Agrícola El León S.A., en el departamento de ingeniería de la oficina técnica. Palas El León, nombre con el cual la empresa es conocida, es una empresa situada en Ejea de los Caballeros (Zaragoza), con más de 50 años de historia y experiencia en la fabricación de implementos agrícolas cuyo producto estrella es la pala.

Los destinatarios de este tipo de implemento frontal son agricultores y ganaderos, además de empresas encargadas de realizar servicios forestales, de obras públicas y construcción, utilizándolas para la carga, transporte y descarga de una gran variedad de mercancías pesadas así como cualquier otro tipo de herramientas. El empleo de estos implementos supone un gran ahorro de trabajo y tiempo, lo cual deriva un coste económico reducido de la labor realizada.

Puesto que el tractor agrícola es una máquina de gran polivalencia, la pala frontal ha de ser versátil para poder adaptarse a todos los trabajos y a todo tipo de tractor. Gracias a la gran cantidad de herramientas que se pueden acoplar a la pala, se convierte en uno de los implementos más importantes que existen en el mundo de la agricultura y la ganadería.

Motivado por las modificaciones introducidas en los frontales de los tractores, El León, como todas las empresas del sector agrícola, se ven obligados a adaptarse. Esto hace necesario el diseño de las modificaciones pertinentes y posteriormente el cálculo estructural de ciertos elementos de la pala y de su acoplamiento al tractor.

La empresa ha puesto a disposición todo el material (planos de todos los modelos de pala en el mercado, estudios de resistencia previos, etc.) y todos los recursos (humanos, software de diseño, etc.) disponibles para la realización con éxito del trabajo puesto que todo desarrollo llevado a cabo hasta la fecha, servirá en un futuro para realizar nuevas modificaciones.

1.3.OBJETIVOS

Los objetivos planteados para este trabajo de fin de grado serán los siguientes:

- Recopilación, estudio y comprensión de la normativa europea de emisiones de gases a la atmosfera para vehículos de fuera de carretera.
- Análisis de las dos alternativas actuales para el tratamiento de los gases de escape en motores agrícolas.
- Revisión de las tecnologías elegidas por los fabricantes más punteros del sector.
- Repaso de la normativa aplicable a los cargadores frontales para tractores agrícolas para un correcto diseño de los nuevos elementos.
- Modelado en 3D de la pala agrícola e incorporación de las nuevas modificaciones geométricas necesarias.
- Análisis de resistencia mediante elementos finitos de los nuevos elementos incorporados que sustituyen a los anteriores e interpretación de los resultados.

Todos ellos tratarán de resolverse adecuadamente en el desarrollo del trabajo.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE CONTAMINACIÓN EN MACI'S

Hoy en día la preocupación por el medio ambiente se está convirtiendo cada vez más en punto de interés común en todos los países del mundo desarrollado.

Los motores de combustión interna son contaminantes y los motores diésel no son una excepción. Estos no solo emiten CO₂ sino que producen otros compuestos químicos como NO_x, HC y CO, así como partículas (humos). La producción de NO_x aumenta cuando la combustión se realiza a altas temperaturas y con exceso de aire (mezcla rica), especialmente en los motores de encendido por compresión (diésel). El monóxido de carbono (CO) es inodoro e incoloro, pero causa adormecimiento, asfixia y muerte eventual; los hidrocarburos sin quemar (HC) son irritantes para los ojos y las fosas nasales; los NO_x irritan los pulmones y producen náuseas y las partículas de carbono pequeñas (PM) son causantes de problemas respiratorios (cáncer de pulmón).

Los grupos ecologistas se oponen al uso desmedido de la motorización para evitar el aumento de los gases contaminantes. La población se concientia cada día más del cambio climático. ¿Y los agricultores, qué pueden hacer? En referencia a los motores algo hay que

decir, si bien es verdad que las emisiones de las máquinas agrícolas son relativamente pequeñas, comparadas con las de los vehículos industriales y de automoción. Como muestra el gráfico 1, la contribución total de gases emitidos a la atmósfera debido a la agricultura es del 14%, dentro del cual se encuentran incluidas las máquinas agrícolas. [1]

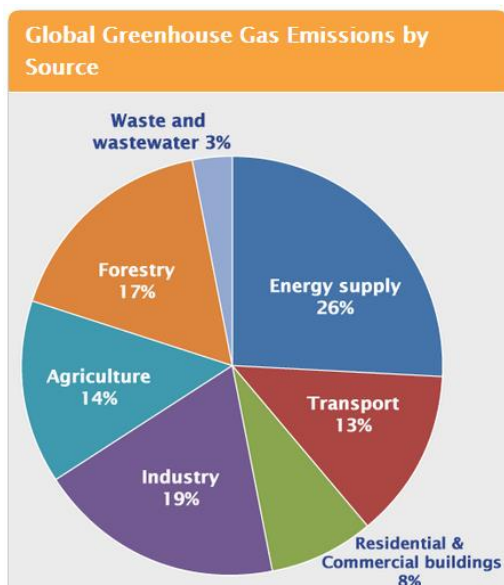


Gráfico 1. Datos contaminación.

En busca de una solución a este problema, las autoridades administrativas decidieron aplicar a los motores de los vehículos extraviarios, como los tractores agrícolas, las limitaciones que tenían programadas para los vehículos que circulan por las carreteras y las calles de las ciudades (vehículos viarios).

Pero los motores para automóviles y para tractores agrícolas no son iguales, ya que en un tractor se necesita potencia y par motor a bajo régimen de funcionamiento, para trabajar a régimen constante y a alto nivel de carga durante muchas horas por día, mientras que en un vehículo de carretera el régimen de funcionamiento del motor es elevado (la demanda de potencia aumenta con la velocidad de marcha) y generalmente trabaja con cargas y régimen de funcionamiento variable.

Debido a todo esto, se viven tiempos de cambio en el mundo de la maquinaria agrícola. Las restrictivas normativas TIER (EE.UU.) o Stage (UE) de emisiones para vehículos de fuera de carretera están forzando la evolución del corazón de los tractores: el motor.

Normalmente en ingeniería el cambio viene provocado por la aparición de una tecnología superior a la existente y su consecuente diseminación en detrimento de la antigua. Hoy en cambio, y de forma excepcional, la evolución está provocada por la aparición de nuevas demandas para las cuales el sistema no está adaptado.

Así pues, el cumplimiento de la normativa de emisiones es un reto que compete principalmente a los fabricantes de tractores agrícolas, pero indirectamente esta evolución va a afectar a los fabricantes de implementos como se verá en los siguientes apartados.

2.2.NORMATIVA DE EMISIONES VEHÍCULOS AGRÍCOLAS: EVOLUCIÓN

La normativa de emisiones para motores de vehículos todoterreno, entre los que se encuentran los empleados por los vehículos agrícolas, se estructura en una serie de escalones o fases ("Tiers" o "Stages") en los que se limita la emisión de contaminantes en función de la potencia de los motores.

Desde el año 1996 el "Tier I" en EEUU (Stage I en Europa, promulgada en 1997 y puesta en práctica en 1999), a parte del control de las emisiones de CO₂, se demanda también un riguroso control de los niveles de emisión de los óxidos de nitrógeno (NOx) y de la materia particulada (PM).

Como límites para las emisiones de gases y partículas en el escape de los motores se establecen los que aparecen en la Tabla 1. En una primera etapa (fase I) sólo se consideran motores de más de 37 kW de potencia, mientras que en la segunda etapa (fase II) se amplía la obligatoriedad hasta potencias de 18 kW. Esto es debido a que resulta más fácil reducir las emisiones en motores de más potencia que en los motores pequeños, por la posibilidad de aplicar la tecnología disponible en los motores para vehículos de carretera.

Los valores indicados se refieren a los medidos a la salida del motor antes de cualquier sistema de postratamiento del escape.

FASE I	POTENCIA NETA (P) [kW]	MONOXIDO DE CARBONO (CO) - [g/kWh]	HIDROCARBUROS (HC) [g/kWh]	OXIDOS DE NITROGENO (NOx) [g/kWh]	PARTICULAS (PM) [g/kWh]
A	130≤P≤560	5	1,3	9,2	0,54
B	75≤P≤130	5	1,3	9,2	0,7
C	37≤P≤75	6,5	1,3	9,2	0,85
FASE II	POTENCIA NETA (P) [kW]	MONOXIDO DE CARBONO (CO) - [g/kWh]	HIDROCARBUROS (HC) [g/kWh]	OXIDOS DE NITROGENO (NOx) [g/kWh]	PARTICULAS (PM) [g/kWh]
E	130≤P≤560	3,5	1	6	0,2
F	75≤P≤130	5	1	6	0,3
G	37≤P≤75	5,5	1,3	7	0,4
D	18≤P≤37	5,5	1,5	8	0,8

Tabla 1. Restricciones Tiers I y II según potencia. [2]

FASE IIIA	POTENCIA NETA (P) [kW]	MONOXIDO DE CARBONO (CO) - [g/kWh]	HIDROCARBUROS Y OXIDOS DE NITROGENO (HC) + (NOx) - [g/kWh]		PARTICULAS (PM) [g/kWh]
H	130≤P≤560	3,5	4		0,2
I	75≤P≤130	5	4		0,3
J	37≤P≤75	5	4,7		0,4
FASE IIIB	POTENCIA NETA (P) [kW]	MONOXIDO DE CARBONO (CO) - [g/kWh]	HIDROCARBUROS (HC) [g/kWh]	OXIDOS DE NITROGENO (NOx) [g/kWh]	PARTICULAS (PM) [g/kWh]
L	130≤P≤560	3,5	0,19	2	0,025
M	75≤P≤130	5	0,19	3,3	0,025
N	37≤P≤75	5	0,19	3,3	0,025
FASE IV	POTENCIA NETA (P) [kW]	MONOXIDO DE CARBONO (CO) - [g/kWh]	HIDROCARBUROS (HC) [g/kWh]	OXIDOS DE NITROGENO (NOx) [g/kWh]	PARTICULAS (PM) [g/kWh]
Q	130≤P≤560	3,5	0,19	0,4	0,025
R	75≤P≤130	5	0,19	0,4	0,025

Tabla 2. Restricciones Tiers III y IV según potencia. [3]

A continuación se muestra una evolución a lo largo de los años de todos los “Tier” o “Stages” desde la implantación definitiva del “Tier III” hasta la actualidad.

POTENCIA (kW)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
130-560	FASE IIIA (Tier III)								
75-130					FASE IIIB (Tier IV int)		FASE IV (Tier IV)		
56-75									
37-56									
19-37									

Tabla 3. Evolución Tiers. [4]

Como puede observarse, el “Tier III” estuvo vigente para todos los rangos de potencia desde su implantación en el año 2008 hasta el año 2010.

A partir del 1 de enero de 2011 se inicia la implantación del “Tier 4” (Stage IV) en los motores de gran potencia (de 130 a 560 kW), que contempla el paso por una fase denominada “Tier 4 provisional” (Stage IIIB) hasta su total implantación.

En las demás motorizaciones continua vigente el “Tier III”, aunque un año más tarde se fijó definitivamente la “Fase IIIB” para el resto, menos para los motores de muy baja potencia. Finalmente la “Fase IV” fue implantada definitivamente a principios de 2014 para tractores de gran potencia mientras que a partir de este 2015 se verán obligados a respetarla la mayoría de motorizaciones desde 76 hasta 760 Cv.

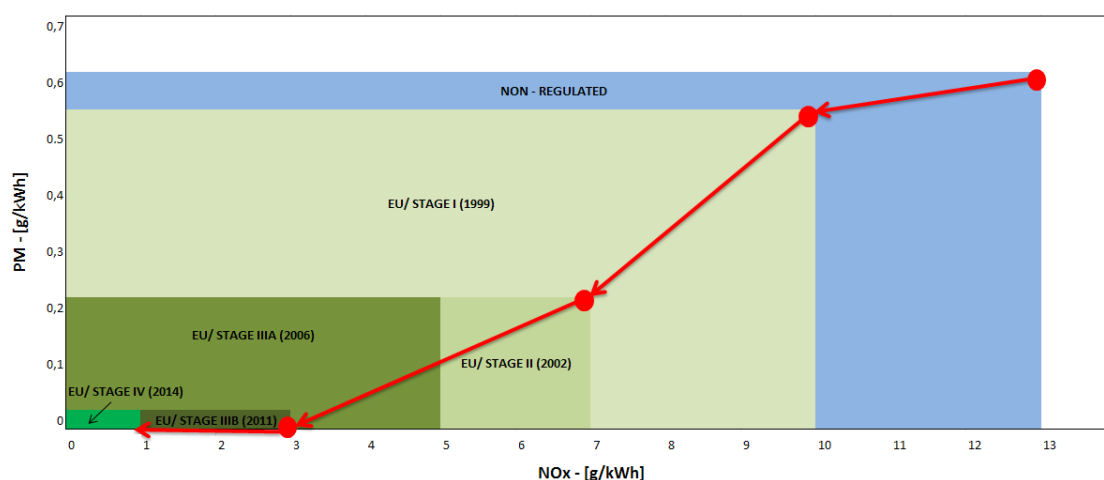


Gráfico 2. Evolucion Tiers. [4]

La evolución registrada a lo largo de las distintas fases resulta especialmente notable en cuanto a niveles de NOx y PM, que se reducen a menos de un 5% de los definidos en el “Tier I”, una vez se ha implantado completamente la fase “Tier 4” en 2014.

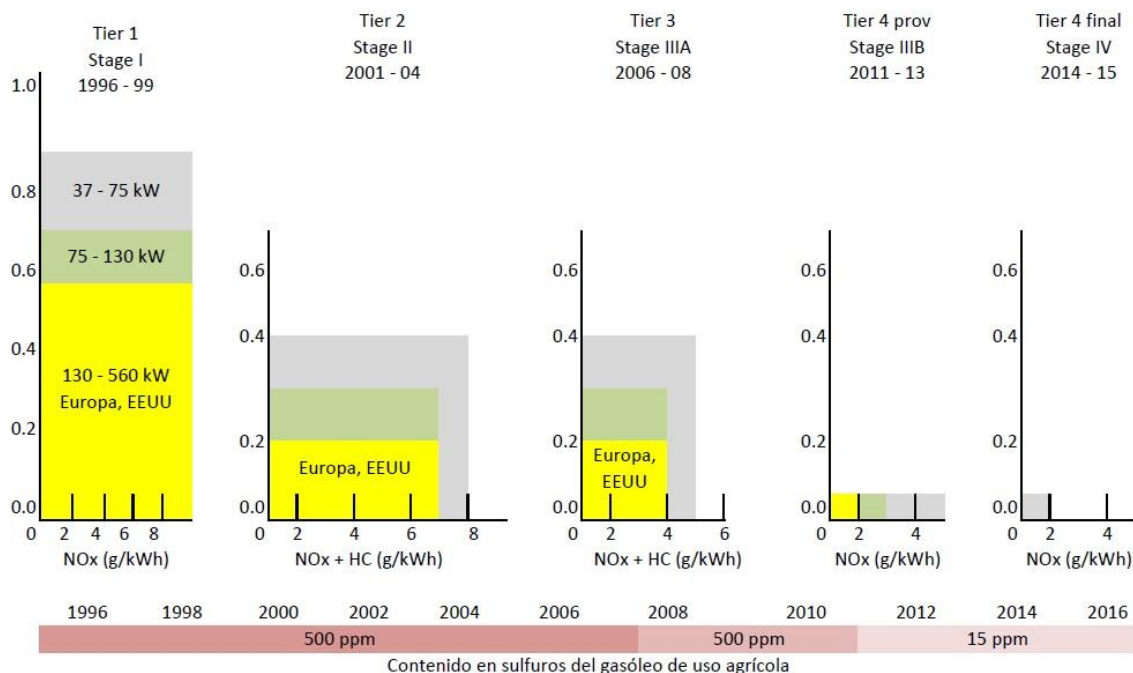


Gráfico 3. Evolución emisiones y carburante. [5]

Las restricciones iniciales impuestas por la EPA (Environmental Protection Agency) en EE.UU. y por la UE se pudieron afrontar modificando los motores para acondicionar los parámetros de la combustión de tal forma que se logró minimizar la generación de estas perjudiciales sustancias.

Para cumplir la normativa que entró en vigor en 2014 se redujeron las emisiones de NOx en los gases de escape en un 95.7% y de partículas (PM) en un 96.7% con respecto a los niveles admitidos en 1999. Mientras que los límites impuestos en el nivel IIIA de emisiones podían cumplirse con modificaciones tecnológicas que afectan solo a los motores, para las siguientes fases hay que recurrir además a tecnologías para el tratamiento posterior de los gases de escape.

La entrada en vigor del “Tier 4” ha supuesto sin embargo un importante reto, ya que implica una drástica reducción en los niveles permitidos de óxidos de nitrógeno (NOx) y de partículas (PM). La limitación de estas emisiones de los vehículos agrícolas se basa en dos estrategias complementarias. La primera de ellas es la reducción de contaminantes producidos durante la combustión, la segunda es el tratamiento de los gases expulsados por el motor previo a su liberación a la atmósfera.

La definitiva implantación del “Tier IV” deriva en mejoras significativas en la calidad del aire, con importantes beneficios para la salud y el bienestar de las personas. Los estudios realizados acerca de los costes y beneficios derivados de la implantación del “Tier IV” son concluyentes, los beneficios cuantificables esperados superan ampliamente a los costes de implantación y mantenimiento de la norma. Una vez implantada definitivamente esta fase en 2015, se abordan nuevos retos como el incremento de la eficiencia energética o la reducción de gases de efecto invernadero que seguirán desafiando a los ingenieros ocupados en el diseño de motores para vehículos agrícolas.

2.3.LAS DOS ALTERNATIVAS ACTUALES

Como se explica anteriormente, la implantación del “Tier IV” implica un desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento de los gases de escape tras la combustión. Los principales fabricantes de tractores agrícolas optan por dos tipos de tecnologías, nuevas en el sector de la agricultura pero que ya se incorporan en motores de vehículos y camiones. Estas son la Reducción Catalítica Selectiva (SCR, Selective Catalytic Reduction) y la Recirculación de Gases de Escape (EGR, Exhaust Gas Recirculation).

2.3.1. REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA (SCR, SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION)

Consiste en convertir los NO_x en nitrógeno (N₂) inocuo y vapor de agua a través de una reacción catalítica. Con un catalizador adecuado (acelerador de la reacción) es posible.

La tecnología para realizarlo se denomina SCR y la provoca una sustancia llamada carbonildiamida o urea que está siendo ya utilizada por autobuses, camiones, algunos coches y, por supuesto, tractores.

El primer coche de serie que incorporó la tecnología fue un Mazda CX-7, pero, anteriormente, fabricantes de camiones y autobuses como Mercedes Benz, Iveco, DAF, Renault Trucks y Volvo.

- La reacción química

En realidad, la reacción no es nueva, en el siglo XVIII ya se conocía. Si se mezclan los gases de escape de un diésel con una solución acuosa de urea en presencia de un catalizador, como es la zeolita o el vanadio, se obtiene vapor de agua y N₂.

Eliminar los óxidos de nitrógeno de los gases de escape implica separar los átomos de nitrógeno y oxígeno, obteniendo como productos de la reacción N₂ y O₂.

La transformación de los NO_x en N₂ y O₂ se realiza en dos fases. En la primera el NO se oxida, con la ayuda de un catalizador, a NO₂. A su vez, el NO₂ queda retenido en el filtro que contiene un óxido de metal alcalinotérreo (por ejemplo, bario) y en ausencia de O₂ se reducen hasta N₂.

Algunas fuentes defienden que este proceso implica un aumento del consumo que se cifra por debajo del 1%; otros fabricantes, defensores de la tecnología SCR, en lugar de consumo hablan incluso de ahorro de combustible en torno al 3 %.



Figura 1. Sistema escape con SCR (Massey Ferguson).

del filtro con un catalizador químico. El convertidor catalítico o catalizador se basa en el empleo de metales como el platino (Pt), el paladio (Pd) y el rodio (Rh) para dar lugar a las reacciones de oxidación y reducción necesarias para que se produzca la conversión.

La forma exterior del catalizador puede asimilarse a un silenciador, además suele ocupar el lugar del primer silenciador en el conjunto del escape dando lugar a confusión.

En su interior se localiza el bloque del catalizador, tipo monolito, que puede ser de material cerámico o metálico.

Los catalizadores para motores diésel permiten controlar las emisiones nocivas mediante las conversiones químicas referidas en los gases de escape, y garantizan la máxima efectividad para neutralizar dichos elementos tóxicos como son las partículas sólidas de hidrocarburos (C+) y el monóxido de carbono (CO). Los resultados obtenidos con estas trampas de NOx son buenos, alcanzando reducción del volumen de emisiones en torno al 90%.

- El lugar donde se produce la reacción.

La urea se convierte en amoníaco y reacciona con los NOx en el catalizador, situado entre el colector de escape y el silencioso (se utiliza un convertidor catalítico que forma parte del sistema de escape del vehículo).

La tecnología SCR requiere un suministro continuo de solución acuosa de urea (al 32,5%) como agente reductor.

Con el tiempo se debe proceder a la limpieza que, en general, se hace de forma periódica y automática durante el funcionamiento normal del motor.

Esto se consigue provocando la oxidación espontánea de las partículas retenidas aumentando la temperatura de los gases de escape, generalmente mediante una pequeña postinyección de combustible durante la carrera de expansión. Para asegurar la integridad del sistema de escape se recurre a provocar la reacción a temperaturas “bajas”, para ello se recubren las caras internas

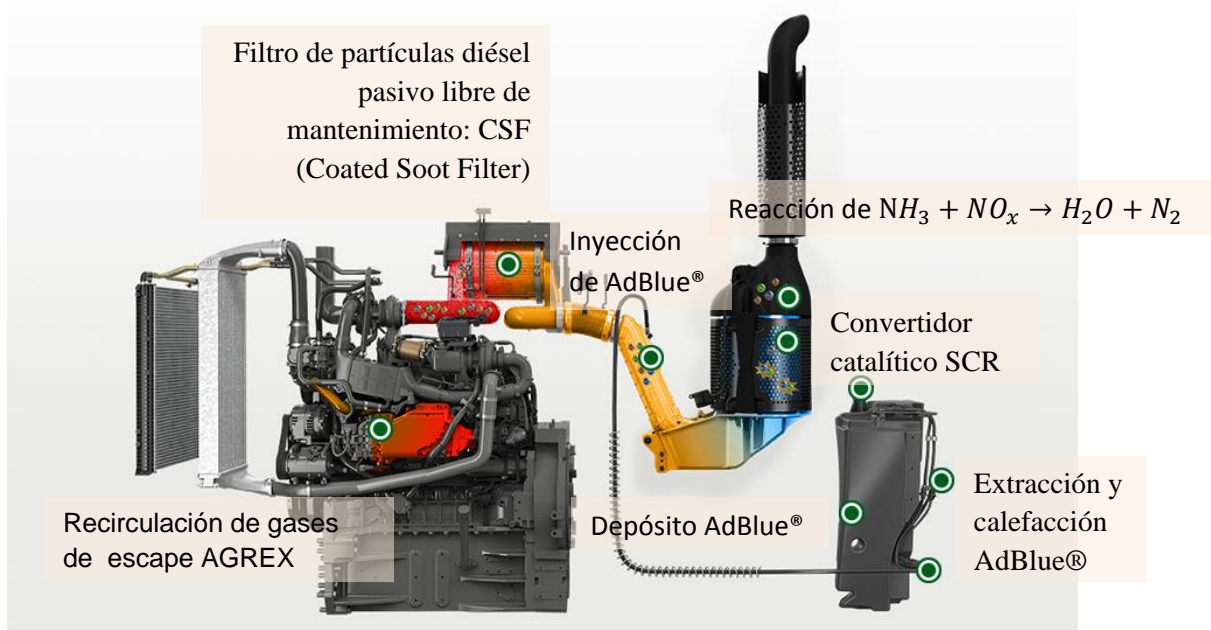


Figura 2. Sistema completo SCR (Fendt).

- AdBlue®

En primer lugar, se debe decir que la urea fertilizante es diferente en concentración y pureza a la usada en el sistema SCR.

La compañía Fertiberia, tiene en el mercado ibérico o español el producto Adblue® (Solución Acuosa de Urea 32,5%) que se vende en distintos formatos (bidón, IOL, IBC y granel). En Europa, otras empresas como Basf, SKW o Yara también ofrecen el producto.

AdBlue® es una marca registrada, protegida a nivel mundial y su derecho de uso debe adquirirse a través de una licencia. El AdBlue® debe cumplir unas especificaciones muy estrictas descritas según la norma DIN70070, debe mantenerse en un rango de temperatura de -11°C a +30°C, y con una duración de un año.

Se estima que el consumo de Ad-Blue® representa un 5% del total consumo de gasoil, pero se debe insistir que la solución de urea no es un combustible, no se inyecta en el motor, sino en el circuito de escape después de la combustión. Es por esto que no está sujeto a impuestos sobre consumo ni a cualquier otra regulación. No es inflamable ni explosivo. No está clasificado como materia peligrosa ni para las personas ni para el medio ambiente. [6]

2.3.2. RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE (EXHAUST GAS RECIRCULATION, EGR)

Desde hace años se habla de catalizadores de tres vías, catalizadores de oxidación, sondas Lambda, válvulas EGR, etc. Como ya se ha comentado, uno de los efectos indeseados producido en el interior del cilindro es la oxidación del nitrógeno del aire. Con las temperaturas existentes en el interior del cilindro, $> 2500^{\circ}\text{C}$, y para una cantidad de combustible inyectado, se facilita la oxidación del nitrógeno.

Para los defensores de la tecnología EGR, la solución puede ser disminuir la temperatura máxima de combustión recirculando los gases de escape refrigerados. Se recircula parte de los gases de escape (de un 5 a un 15%) nuevamente a la cámara de admisión.

El volumen de gas recirculado es proporcional a la potencia empleada y se regula en un venturi cuya apertura se gestiona electrónicamente.

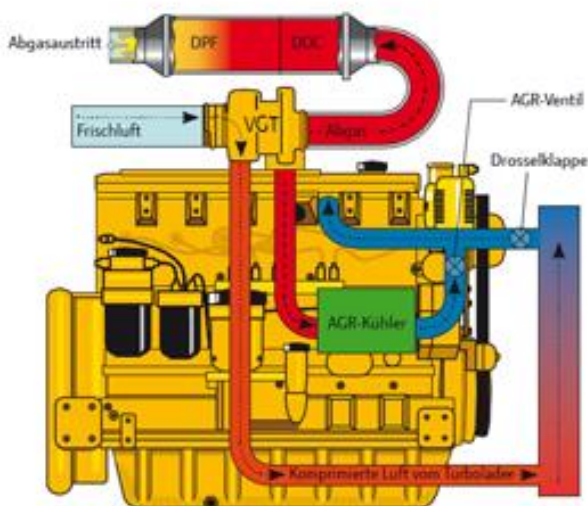


Figura 3. Motor completo John Deere con EGR.

Lo que se consigue es empeorar la mezcla consiguiendo una reducción de las emisiones de óxido de nitrógeno en proporciones de un 60%.

Fabricantes de camiones y autobuses como Man y Scania han elegido esta tecnología (aunque también utilizan la tecnología SCR para sus motorizaciones más potentes); fabricantes de tractores como John Deere y el grupo Same Deutz-Fahr optan por esta tecnología.

Existe, no obstante, un efecto indeseable que es el aumento de las partículas en suspensión provocado por tener una peor combustión, en otras palabras, consigue mejorar las emisiones del NOx pero se incrementan las de CO y partículas (PM).

Para reducirlo se opta por soluciones complementarias:

- Aumento de la presión de inyección de combustible, mediante técnicas de inyección Common Rail.
- Integración del turbocompresor de geometría variable (VGT) para controlar la emisión de humos en aceleración.
- Modificación de la cámara de combustión para optimizar la mezcla aire-combustible.
- Se requiere un catalizador de escape, una cámara cerámica recubierta de sustancias químicas.

El elemento primordial del sistema es una unidad de control ECU que cuantifica los parámetros (cantidad de combustible, revoluciones de motor y masas de aire) para decidir el funcionamiento.

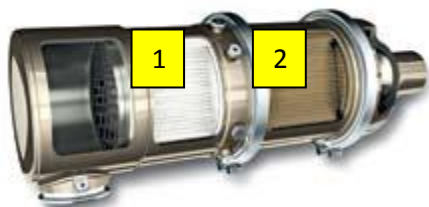


Figura 4. DOC + DPF

El sistema EGR no debe ni puede entenderse sin el uso de catalizador y filtro de partículas.

1 DOC: El catalizador de oxidación diésel reacciona con los gases de escape para reducir las emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos y determinadas partículas

2 DPF: El filtro de partículas diésel fuerza a los gases de escape a través de sus paredes porosas, atrapando y reteniendo hasta las partículas más pequeñas, para su posterior oxidación en un proceso automático de auto limpieza

La solución EGR tiene su principal ventaja en no contar con aditivos adicionales ni costes extra añadidos.

El mecanismo se implementa con una válvula mecánica con una membrana que hace de by-pass entre los gases de escape y el colector de admisión. La EGR se activa mediante una electroválvula gobernada por la ECU que regula los tiempos y el flujo de gas (en otras palabras, a la unidad de control no le basta con abrir y cerrar la válvula EGR, hace mucho más: sirve para saber en qué momento, cuánto tiempo y el caudal de gases que recirculan).

2.3.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA SISTEMA

Los fabricantes a favor del sistema SCR enumeran ventajas de su sistema

Las ventajas del sistema SCR:

- Una de las grandes ventajas del sistema es que con la tecnología SCR apenas se necesita hacer cambios en el motor (los cambios se producen en sistemas anexos).
- Los gases de escape pueden llegar a ser más limpios: posibilidad de desarrollo posterior para satisfacer normas más severas.
- No influye en nada en los mantenimientos y el cambio de aceite.
- Parece que el sistema SCR reduce el consumo de combustible aproximadamente un 5 %.

Las desventajas del sistema SCR:

- La tecnología SCR tiene el coste continuado de la adicción de urea.
- Dificultades de repostaje de un aditivo que no es común.
- Problemas con la duración del aditivo: cristalización, evaporación, cambios con las temperaturas extremas, etc.

- Sistema complicado: depósito adicional, conductos, unidades de control y sensores.
- Posibles confusiones al rellenar depósitos.
- La urea puede implicar problemas de corrosión.

Las ventajas del sistema EGR:

- La principal baza de estos constructores es que si consiguen cumplir el límite de emisiones con el sistema EGR, han alcanzado el objetivo de forma más sencilla con una mecánica compacta.
- Son motores de mayor rendimiento.
- Los motores EGR no tienen costes añadidos por la necesidad de incorporar nuevos compartimentos o depósitos.
- El sistema EGR no depende de la temperatura como le ocurre a la urea.
- No se tiene supeditación a la disponibilidad de elementos adicionales.
- Su tecnología elimina los riesgos de corrosión. Existen algunas fuentes que “acusar” al sistema SCR de ser una tecnología muy sensible a la existencia de azufre en el gasóleo. El azufre puede depositarse en el convertidor catalítico afectando al funcionamiento.

Las desventajas del sistema EGR:

- Con combustibles con alto contenido en azufre el sistema de recirculación, EGR, puede tener más riesgo de producir ácido sulfúrico.
- El sistema de EGR necesita una válvula electrónica y un sistema de refrigeración de los gases de escape (el motor requiere un incremento aproximado del 20% en el tamaño de los sistemas de refrigeración).
- Los componentes del EGR pueden tener una menor vida útil debido a las condiciones de alta temperatura en las que trabajan y, en todo caso, requieren más espacio para colocar mayor capacidad de refrigeración.
- El turbocompresor de geometría variable es un sistema caro y necesita de una unidad electrónica que puede dar problemas.
- La bajada de temperatura de combustión afecta directamente al rendimiento del motor.

2.4.SOLUCIONES ADOPTADAS POR LOS FABRICANTES

Los fabricantes de tractores agrícolas, como antes se ha mencionado, optan por una u otra tecnología (EGR ó SCR) en base a las motorizaciones o simplemente porque creen conveniente que una de las dos cumple mejor que la otra.



John Deere denomina a su estrategia *Green Efficiency* para optimizar el consumo de sus motores. Ha sido el primer fabricante de tractores que ha optado por la tecnología EGR. [7]



GRUPO AGCO

El grupo AGCO engloba una serie de marcas las cuales son Fendt, Massey Ferguson, Challenger y Valtra. De todas ellas, sus productos estrella son Fendt y Massey. [8]



Massey Ferguson

Es defensor de la tecnología SCR porque es capaz de cumplir con el nivel de emisiones actual y futuro, sin comprometer la potencia ni los costes operativos ni la productividad.

La tecnología SCR es la más económica, limpia y elegante respuesta al desafío de la presente y futura regulación sobre la emisión de gases.

MF tiene el honor de ostentar el récord por fabricar el primer tractor del mundo con un motor con tecnología SCR, el MF8690. Se trata de un tractor de 370 CV y que Massey ha querido que sea su máximo exponente en potencia y en tecnología. [9]



Fendt

El fabricante quiere destacar la elección de la línea seguida en su nueva serie 800 Vario. Monta un motor Deutz de 6060 cc con 6 cilindros y 4 válvulas, control electrónico y con el sistema de reducción catalítica selectiva (SCR). Al motor se le acopla un ventilador viscoso controlado electrónicamente.

En definitiva, Fendt y Massey adoptan la filosofía del grupo AGCO debido a que han considerado la tecnología SCR óptima para cumplir las exigencias Tier IIIB y futuras. [10]

2.5.ORIGEN DEL PROBLEMA PARA AUXILIARES

La maquinaria agrícola ha sufrido grandes transformaciones a lo largo de los últimos treinta años, especialmente significativo ha sido la modernización de los aperos utilizados. Si bien gran parte de los aperos que actualmente se utilizan en la agricultura ya existían, han sufrido una gran modernización, un ejemplo de este cambio es el tractor agrícola, como podemos observar en las figuras 5 y 6. Actualmente los tractores agrícolas son mucho más potentes que hace más de treinta años y dotados con una gran tecnología. Esta evolución ha propiciado que la mano de obra en el campo sea mucho menor, pues los trabajos pueden ser realizados por menos personal de una manera más cómoda y rápida.

Todo esto ha permitido no solo que los tractores sean más potentes y cómodos sino que además sean mucho más seguros, gracias a sistemas como las cabinas antivuelco, etc.



Figura 6. Tractor Lanz Bulldog



Figura 5. Massey Ferguson 7615.

A lo largo de toda la historia de la agricultura, siempre se han tenido que adaptar los aperos a la maquina tractora que tira de ellos o los empuja, ya fuese un animal en el pasado o un tractor en la actualidad. Por sencillez y comodidad, los fabricantes de implementos también han ido innovando en sistemas de acople al tractor para hacer de la tarea de enganche y desenganche más rápida a través del diseño de múltiples tipos de enganches rápidos.

Debido a las últimas evoluciones para cumplir con la normativa "Tier IV" de emisiones, los fabricantes de implementos agrícolas se ven obligados a adaptarse una vez más a las soluciones que los fabricantes de tractores proponen.

Actualmente los fabricantes que optan por una tecnología SCR, al incorporar un depósito de Ad-Blue y un catalizador externo, presentan varios problemas, siendo el principal la reducción del espacio disponible en la parte frontal del tractor.

Los mayores perjudicados de esta nueva tecnología son los fabricantes de palas cargadoras y bulldozers agrícolas. La instalación de estos implementos frontales presenta multitud de inconvenientes en la adaptación a cada tractor en particular, tales como: radio de giro del eje delantero, diseño del chasis, etc., la mayoría de ellos originando problemas de diseño basados en el espacio disponible.

Este estudio, enfocado particularmente a las palas agrícolas, deduce que los problemas de espacio perjudican el acople de la pala al tractor, concretamente en dos elementos fundamentales como son el pilarete y el amarre, cuya función se explica posteriormente.

3. CASO DE LA PALA AGRÍCOLA

3.1.DEFINICIÓN DE PALA CARGADORA AGRÍCOLA

Se llama cargador frontal agrícola, pala cargadora agrícola o simplemente pala, a la misma acoplada a un tractor sobre orugas o neumáticos, provista de una cuchara o herramienta cuyo movimiento de elevación se ejecuta mediante dos brazos articulados.

La pala cargadora agrícola es una maquina hidráulica puesto que todos sus movimientos, así como algunos implementos están gobernados por cilindros hidráulicos. Su sistema hidráulico se alimenta del perteneciente al tractor al cual se acopla. La pala cargadora toma del tractor el fluido de trabajo y la bomba de presión. El sistema hidráulico de una pala cargadora simplemente con una cuchara está formado por dos parejas de cilindros hidráulicos. Los cilindros principales (comúnmente denominados cilindros de elevación) son los encargados de elevar la carga y los cilindros secundarios (denominados cilindros de volteo), de realizar la inclinación o el volteo de la cuchara o del implemento acoplado.

El manejo de la pala agrícola ha de ser sencillo rápido e intuitivo. Los movimientos se controlan desde el propio puesto de conducción del tractor mediante uno o varios distribuidores hidráulicos, según el tipo de mando elegido por el operario.

En la actualidad existen diversos modelos de palas agrícolas según las características requeridas por el operario.

Es necesario acoplar al chasis de cada tractor unos amarres (o portapilaretes), específicos para cada modelo. Sobre estos amarres se anclará la pala.

3.2.HISTORIA DE LA PALA AGRÍCOLA



Figura 7. Pala El León
mod. 200-00 N.

Paralelamente a la evolución de los tractores agrícolas, las palas cargadoras se han visto obligadas a sufrir una gran evolución, como se detalla a continuación.

Las palas más antiguas como se observa en la figura 7, son mucho más simples en cuanto a su fabricación y no poseen ningún refuerzo.

Los brazos son más cortos además de tener una sección menor, por ello la altura de elevación y el peso que pueden elevar es menor.

Los cilindros principales encargados de elevar la carga son de simple efecto, es decir, el cilindro solo tiene una entrada de aceite a presión, que se utiliza para elevar la carga. En el momento en que queremos descender la carga esta descende por la fuerza de la gravedad. Esto propicia que no podamos ejercer fuerza en sentido descendente.

Este tipo de palas no poseen ningún sistema de nivelación de la carga, esto propicia que la carga pueda caerse durante la elevación. La cuchara es volteada directamente mediante la fuerza ejercida por un cilindro hidráulico. Este sistema no permite multiplicar la fuerza que ejerce este cilindro sobre la cuchara, además el ángulo de inclinación del mismo está limitado por la carrera del cilindro.



Figura 8. Pala El León mod. 20.000

Los posteriores modelos de palas como podemos ver en la figura 8, son más robustos pues ya poseen refuerzos en su chasis principal además de estar fabricados con mejores materiales y métodos de fabricación. Son capaces de elevar un mayor peso y los brazos poseen una mayor largura que propicia una mayor altura de elevación.

Los cilindros hidráulicos principales siguen siendo de simple efecto. Este tipo de palas incorporan un sistema paralelogramático, propiciando que la inclinación de la cuchara ya no sea directamente dependiente de la elevación de la pala. Esta evolución implica que podamos elevar la carga de manera totalmente horizontal durante todo su recorrido.



Figura 9. Pala El León mod. 410E (Serie Europa, actual modelo en venta)

Actualmente las palas modernas poseen los mismos principios que las primeras, pero son mucho más potentes y robustas, además de rápidas y precisas. Las palas cargadoras son un aforo fundamental en el mundo de la agricultura y la ganadería gracias a su polivalencia.

Como observamos en la figura 9 la nueva pala cargadora, incorpora una imagen mucho más moderna. Además incorpora mejores materiales así como un método de fabricación mejorado, haciendo que sea una pala mucho más robusta y tenga mayor precisión.

3.3.NECESIDADES DEL USUARIO

La pala cargadora es un elemento intermedio entre la potencia hidráulica del tractor y las variadas tareas del laboreo. La manipulación de diversos materiales agrícolas implica una doble adaptación de la pala a las características del tractor y a las necesidades del usuario.

Debido a las múltiples labores que se pueden realizar en la agricultura, ganadería y forestales, la pala agrícola es un implemento muy versátil.

Habitualmente el usuario utiliza la pala para labores de movimiento de tierras, transporte y manipulación de productos agrícolas como cereales, o a las diversas labores ganaderas tales como limpieza del suelo de granjas, manipulación de pacas, ensilaje, etc. Por esta razón, existen multitud de herramientas que pueden acoplarse.

3.3.1. CUCHARA O HERRAMIENTA

Se llama cuchara o herramienta al implemento que se acopla en la parte delantera de la pala. Las cucharas tienen diferentes características en función de sus aplicaciones o labores a realizar.

Habitualmente los fabricantes de las cucharas son los propios fabricantes de las palas cargadoras. Por ello es habitual que cada fabricante diseñe sus propios enganches entre la pala cargadora y las cucharas que fabrica, aunque actualmente entre la mayoría de fabricantes existe la tendencia a fabricar el llamado “Euro Enganche”, el cual permite acoplar implementos de cualquier fabricante europeo que lo utilice para sus palas.

Con la modernización de este tipo de amarre, se ha conseguido que la operación de enganche y desenganche de la cuchara sea completamente automática, lo cual representa un gran avance en comodidad y un ahorro de tiempo.

El catálogo de cucharas en el mercado es muy amplio desde robustas cucharas de áridos a elevados volúmenes de carga en las cucharas de cereal pasando por las pinzas forestales, horquillas de balas, horquilla de estiércol e incluso una barredora o una teja de bulldozer. [11]

En las siguientes figuras se muestran algunos ejemplos:



Figura 10. Cuchara de áridos.



Figura 11. Cuchara de cereal.



Figura 12. Horquilla pacas redondas.



Figura 13. Pinza forestal.



Figura 14. Horquilla de desensilar.

3.4.FABRICANTES

Existe una gran variedad de fabricantes de palas agrícolas en el mercado. Hay marcas conocidas mundialmente, y en menor medida en un país o una región del mismo dependiendo de la amplitud de mercado de la misma.

En Europa, las marcas punteras en el negocio son:

- Grupo Alö, Suecia [12], con dos marcas, Quicke [13] y Trima [14].
- MX (Mailleux), marca francesa. [15]
- Stoll marca alemana. [16]

En España, los fabricantes más conocidos son:

- Maquinaria Agrícola El León. [11]
- Tenías [17]
- Roda [18]
- BMH [19]

3.4.1. FABRICANTE SELECCIONADO

Maquinaria Agrícola El León se estableció en 1959 como empresa dedicada a la fabricación de máquinas (segadoras, rastrillos, empacadoras, etc.) para facilitar las labores agrícolas y ganaderas. En 1967, introduce en España su producto de referencia: la pala cargadora. El éxito nacional de esta máquina conlleva la construcción de nuevas instalaciones en 1977, que serán ampliadas hasta 12.000 m² en 1986. En los años 90, se desarrollan talleres auxiliares en la comarca que nutren a la compañía incrementado así, su capacidad de producción. La expansión internacional de la pala cargadora “made in Spain” tiene éxito en el ámbito europeo. Su próximo desafío es continuar progresando en un mercado globalizado.

PALA CARGADORA
Modelo 4.000-00
Descarga mecánica



Figura 16. Primera pala El León.

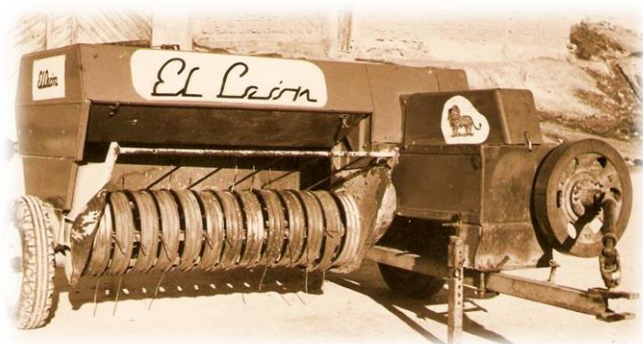


Figura 15. Primeros implementos y maquinaria El León.

Misión de la empresa

Su misión actual es proporcionar al usuario la pala cargadora más adecuada para su tractor. Para ello, realiza una investigación constante de los nuevos modelos de tractores y diseña las adaptaciones más sólidas y precisas. También es objetivo prioritario de la empresa su expansión internacional.

Maquinaria Agrícola El León dirige su esfuerzo técnico a la compatibilidad de sus palas con diferentes modelos de tractor (entre 40 y 190 CV), y a su vez no olvida la necesidad de pensar constantemente en el bienestar del usuario. En su afán de innovación y amplitud de mercado, muestra su empeño en buscar nuevas mejoras tanto en la fabricación de la pala como durante su funcionamiento.

De acuerdo a las necesidades del cliente, Maquinaria Agrícola El León ofrece una serie de modelos de pala de menos a más dimensiones, rigidez y robustez, así como una serie de cucharas varias e implementos.

La **Serie Mini** está diseñada para equipar pequeños tractores rígidos y articulados.

Se compone de los modelos:

- 206P y 236P de 4 cilindros y paralelogramo mecánico incorporado.

La **Serie Europa**, diseñada para equipar tractores desde pequeños viñeros hasta tractores robustos de más de 190Cv.

Esta serie se compone de los modelos:

- 320F y 340E para tractores viñeros y bajas potencias
- 370E, 385E, 410E, 430E y 470E para tractores robustos y de alta potencia.

3.5.MODELO SELECCIONADO PARA EL ESTUDIO

Debido a que los fabricantes que instalan la tecnología SCR en sus tractores lo hacen en los modelos de medianas a mayores potencias, el modelo de pala a seleccionar ha de ajustarse a las características de estos, tanto estéticas como de potencia. Por todo ello, se ha seleccionado el modelo 410E, perteneciente a la Serie Europa.

3.5.1. DESPIECE DEL MODELO SELECCIONADO

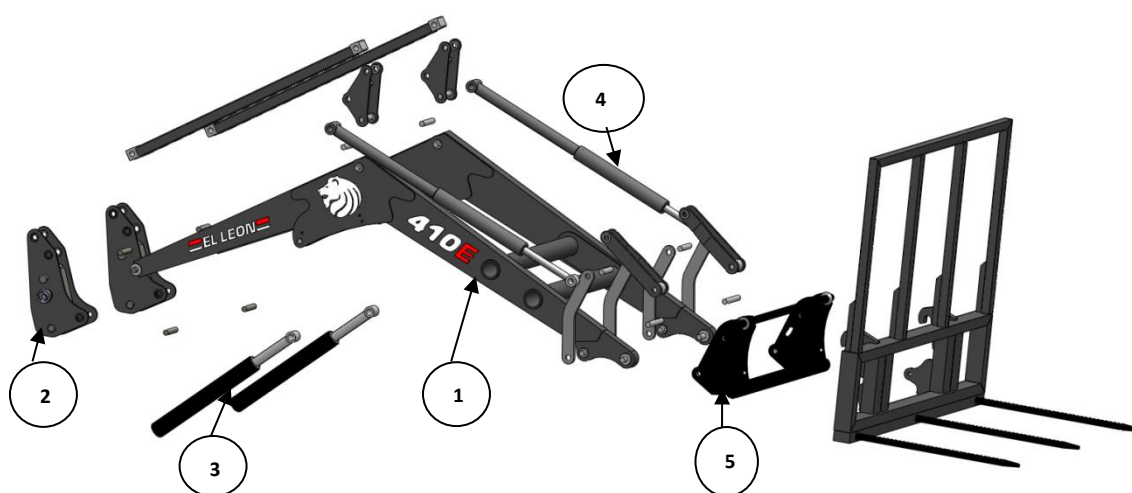


Figura 17. Despiece pala agrícola.

A continuación se describen las distintas partes del despiece de la pala agrícola:

1. BRAZOS DE ELEVACIÓN: Forman el chasis principal del mecanismo. Son los encargados de soportar las fuerzas en el movimiento de las cargas, además de servir como sujeción del resto de elementos.

2. PILARETE: Es la pieza encargada de unir el amarre al chasis del tractor agrícola con la estructura principal de la pala, además de unir los cilindros hidráulicos de elevación con la mencionada estructura para que esta pueda elevarse o descender.

3. CILINDROS HIDRÁULICOS DE ELEVACION: Este par de cilindros hidráulicos son los encargados de proporcionar el movimiento requerido a la pala y así poder elevar la carga. Esta unido mediante pasadores al pilarete en un extremo y en el otro a los brazos de elevación por medio de dos cartabones a cada lado del perfil del brazo. Estos cilindros están alimentados por el sistema hidráulico del tractor agrícola.

4. CILINDROS HIDRÁULICOS DE VOLTEO: Este par de cilindros hidráulicos son los encargados de proporcionar el movimiento a la cuchara o herramienta. Con este movimiento se puede variar el ángulo de la cuchara con respecto a la horizontal. Estos cilindros hidráulicos están unidos mediante las orejetas del paralelogramo a los brazos de la pala en un extremo y en el otro al enganche de las herramientas. Estos cilindros hidráulicos están alimentados también por el sistema hidráulico del tractor agrícola.

5. ENGANCHE “EURO”: Esta pieza sirve para acoplar a la pala las diferentes herramientas mediante un sistema rápido y sencillo. Además este enganche proporciona la posibilidad de compartir útiles de otras marcas, asegurando un buen acople, siguiendo las indicaciones de la norma UNE/EN 12525 “fijación positiva”.

3.5.2. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

El modelo seleccionado (pala 410E), posee una altura de elevación, un ángulo de volteo, tiempos de elevación etc. característicos, los cuales se explican mediante el siguiente esquema y tablas.

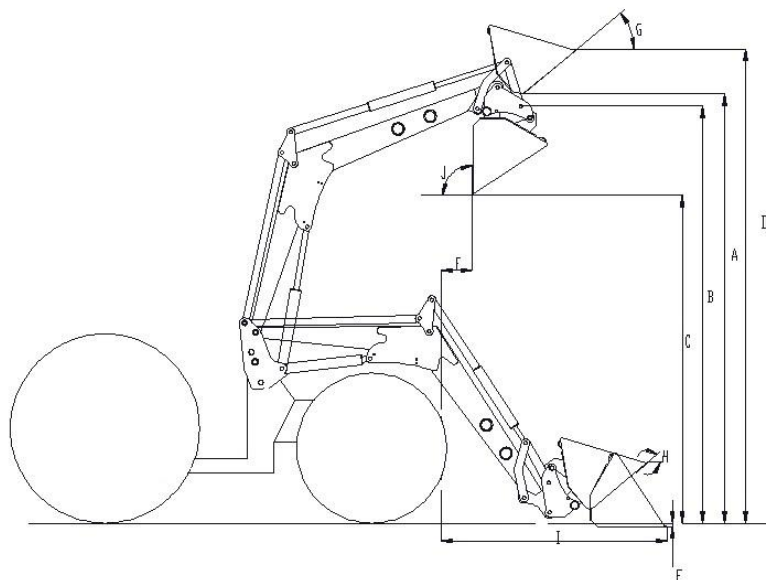


Figura 18. Esquema medidas pala.

La figura 18 muestra datos como la altura de elevación de la misma o los grados de la cuchara cuando se encuentra inclinada o volteada. En las tablas 4 y 5 se pueden observar todas estas especificaciones:

MODELO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	grados	grados	mm.	grados
SERIE EUROPA										
320F	3.200	2.990	2.325	3.735	130	380	51	42	1.450	76
340E	3.400	3.190	2.530	3.970	140	450	49	44	1.450	79
370E	3.700	3.480	2.740	4.300	150	575	45	42	1.500	80
385E	3.850	3.640	2.930	4.450	160	500	48	43	1.750	76
410E	4.100	3.890	3.180	4.750	160	500	49	43	1.900	76
430E	4.350	4.150	3.350	5.050	160	450	56	43	1.950	67
470E	4.700	4.500	3.750	5.350	165	700	54	42	2.050	68

Tabla 4. Medidas características palas El León.






					
320F		3,7	2,0	1,6	2,7
340E		4,4	2,5	2,0	3,0
370E		4,5	3,0	1,5	2,5
385E		6,0	4,0	2,5	3,5
410E		6,0	4,0	2,5	2,5
430E		7,0	4,0	2,3	3,5
470E		6,2	4,1	2,3	3,4

Tabla 5. Tiempos elevación y volteo palas El León.

3.5.3. ESPECIFICACIONES DEL PROBLEMA

Como puede verse en la figura 19, no solo la incorporación del nuevo depósito y el catalizador perjudican directamente el acople de la pala, sino que algunos filtros, cajas de herramientas, etc. también pueden hacer de la instalación una tarea compleja.



Figura 19. Depósito y filtro Massey Ferguson 7615.

Problema: aumento del tamaño del depósito de carburante; el filtro situado delante estorba en el anclaje del amarre de la pala.



Figura 20. Amarre pala 410E en Massey 7615.

Primera Solución: el amarre se ha situado en el lugar donde se encontraba el filtro y delante del depósito, lo cual no significa ningún problema. El filtro se ha sujetado al amarre a través de una pletina soldada.

Esta solución y otras más que han sido necesarias adoptar en el pasado, han servido como solución particular para cada modelo de tractor en que ha sido necesaria la instalación de la pala.

Lo que se busca en este estudio, es una solución única a este tipo de problema que presentan todos los tractores que incorporan la tecnología SCR a sus motores, así como ahorro de tiempos en montaje y de materiales.

Esto no significa que vaya a existir un amarre común para todos los modelos de tractor que incorporen esta tecnología ya que cada chasis es diferente y el diseño de las piezas que componen el amarre es propio para cada tractor. Por ello el número de piezas como su forma será distinto en cada amarre, pero existirá una mayor comodidad en su adaptación al tractor y por lo tanto en el acople de la pala, evitando multitud de inconvenientes, principalmente de espacio.

3.5.4. NUEVOS ELEMENTOS. SOLUCIÓN ALTERNATIVA PROPUESTA

La solución propuesta es el rediseño del pilarete y amarre del modelo 410E, una pala robusta para tractores de potencias alrededor de los 150Cv que podrá servir para otros modelos de menor tamaño que aún no incorporan la tecnología SCR y que en un futuro estarán obligados a hacerlo.

Principalmente se busca un diseño más reducido y compacto del pilarete que permitirá su alojamiento en cualquier recodo de la parte frontal del tractor agrícola. Los principales fabricantes de tractores ya lo consiguen en las palas de su propia marca, por lo que es necesario dar un paso adelante.

A parte del cambio más visible que es el estético, la reducción del pilarete implica una reducción de lastre en el tractor, que necesita desarrollar una menor potencia para desempeñar



Figura 21. Pala Fendt.

las labores con la pala. Por consiguiente, el consumo del tractor se reduciría y se contribuiría también a una menor contaminación, por lo que incluso pequeños cambios en el diseño de implementos también pueden aportar a la hora de reducir emisiones de gases a la atmósfera, aunque sea en una pequeña parte.

Como puede verse en la figura 21, el pilarete desarrollado por las palas Fendt tiene un perfil poco común, de tamaño reducido que queda totalmente integrado en el tractor y sobrepasa lo mínimo la altura del frontal del tractor.

En cambio, el antiguo pilarete que monta El León probablemente tiene un tamaño excesivo, que con las nuevas tecnologías que incorporan los tractores se hace difícil de montar y a su vez es pesado de manipular.



Figura 22. Amarre El León.

En la figura 22 se puede ver con claridad que el pilarete sobresale por encima del frontal bastante mas que el que Fendt incorpora.

Antes de comenzar con el diseño, es necesario saber las reglamentaciones que ha de cumplir la pala, tanto en seguridad como en circulación cuando se encuentra acoplada al tractor.

En la mayoría de las situaciones, los cargadores frontales son elementos que se incorporan al tractor mediante dispositivos que permiten su retirada cuando no se necesitan, aunque en la mayoría de las situaciones permanecen sobre el tractor todo el tiempo.

La normativa de circulación vial puede limitar sus dimensiones, pero también hay que considerar algunos requisitos obligatorios, complementarios de los que se exigen al tractor, tanto para su homologación como en las Inspecciones Técnicas periódicas.

Según el *Real Decreto 2028/86*, sobre las normas para la aplicación de determinadas Directivas de la CE, relativas a la homologación de vehículos agrícolas, así como de partes y piezas, la instalación de un cargador frontal no es materia objeto de Reglamentación. Por lo tanto, al no ser necesaria para la homologación del tractor, la instalación no figurará en la ficha de inspección técnica de vehículos. Dicho cargador frontal se considerará como otro apero cualquiera para el trabajo en campo.

Como cualquier máquina agrícola, debe de cumplir las exigencias establecidas por la Directiva de Seguridad en las Máquinas, y son objeto de aplicación de la norma UNE-EN 12 525, del año 2000, complementadas con las normas generales de seguridad, como la *UNE-EN 292 parte 2* y la *UNE-EN 1553*, específica para maquinaria agrícola. De acuerdo con lo que especifica la norma *UNE-EN 12 525*, los riesgos específicos de los cargadores frontales son los siguientes: [20]

- Pérdida de estabilidad de la máquina.
- Elevación de cargas.
- Movilidad de la máquina.
- Transmisión de potencia hidráulica.
- Operaciones de mantenimiento.

Y se establecen las medidas de protección:

- Contrapesado del tractor.
- Soportes para el mantenimiento y el almacenamiento.
- Sistema de accionamiento de los mandos.
- Diseño del circuito hidráulico.
- Facilidad de montaje de la pala por un solo operador.

El circuito hidráulico y sus componentes se deben diseñar conforme a lo dispuesto en la *Norma EN 982*. Como la reforma no influye en el circuito hidráulico, se asume que la pala a modificar cumple con la normativa en su anterior diseño. [21]

Para comenzar con el diseño, se parte del antiguo pilarete puesto que algunas de sus dimensiones se quieren aprovechar.

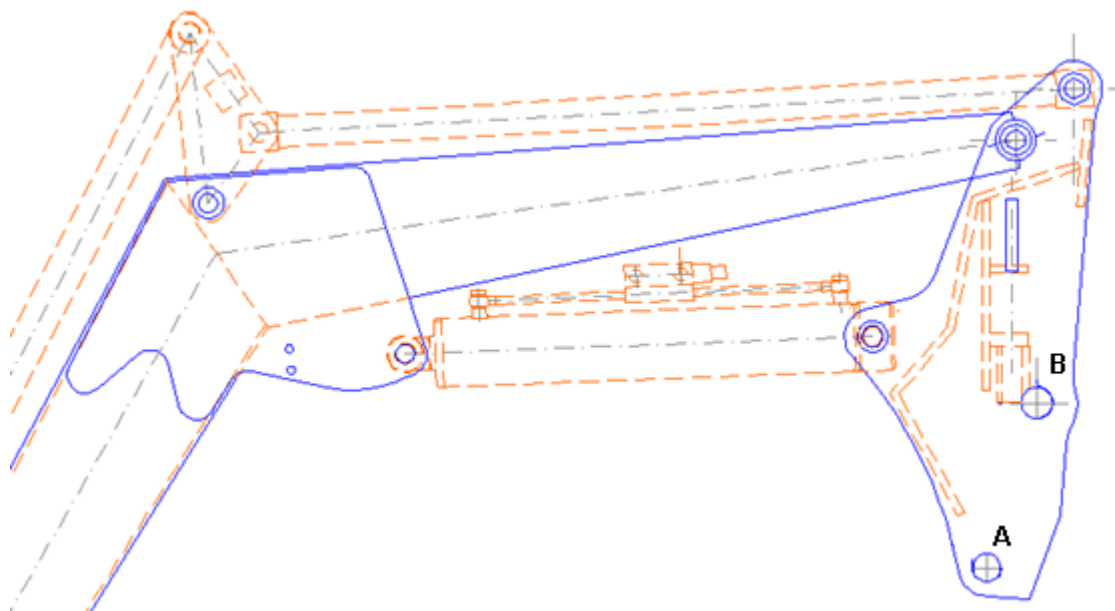


Figura 23. Esquema pala 410E antiguo pilarete.

La figura 23 pertenece al diseño antiguo del pilarete y que se desea modificar.

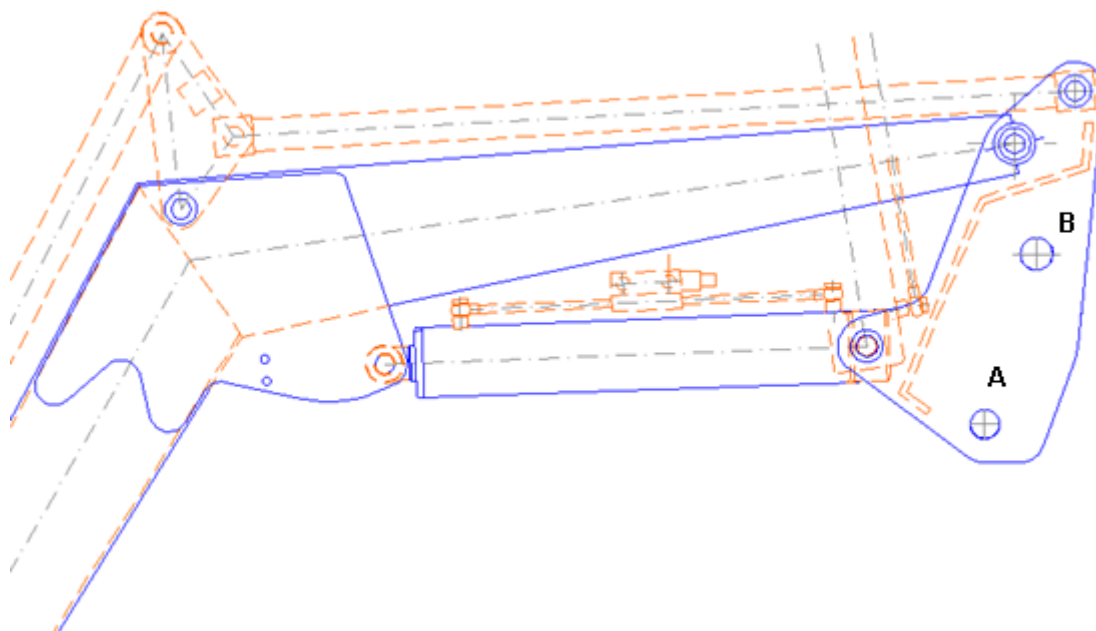


Figura 24. Esquema pala 410E nuevo pilarete.

En la figura 24 puede observarse claramente el cambio realizado en el diseño.

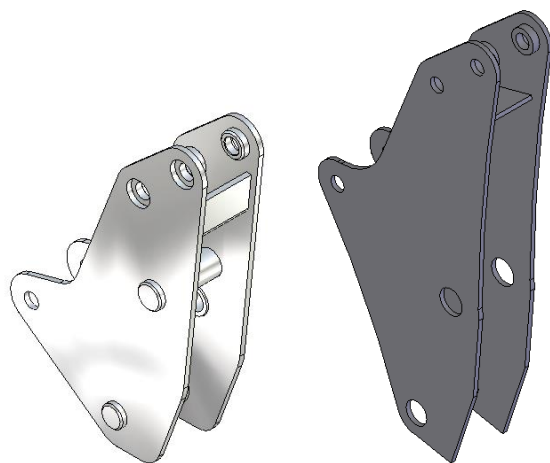
En este nuevo diseño se han elevado los dos puntos de apoyo del pilarete (puntos A y B de las figuras) al amarre 250mm manteniendo la posición entre ellos y se ha imitado en las chapas laterales el perfil del pilarete que usa la pala modelo 320F, una pala que es más sencilla y se monta en tractores de menor tamaño.

Todo esto se ha modificado sin realizar ni un solo cambio en las distancias entre los puntos que unen el pilarete con el cilindro de elevación, el brazo elevador o la barra del paralelogramo (resto de puntos de anclaje de la pala al pilarete).

Ya que se cambia totalmente de pilarete, se han de modificar las dimensiones y forma de las piezas que lo componen, así como la chapa principal del amarre al tractor.

Al realizar un cambio en la silueta del pilarete, la chapa que compone el refuerzo interior (líneas discontinuas en naranja dentro de la chapa lateral del pilarete), también debe tener un cambio en su forma.

Puesto que se ha reducido el espacio interior del pilarete en altura, el pestillo de cierre no dispone del espacio suficiente, por lo que se ha realizado un cambio en dicho elemento, tomando el pestillo que incorpora el pilarete de la pala 320F.



Presentando el diseño en 3D de los pilaretes nuevo y antiguo respectivamente, puede verse una clara diferencia del cambio realizado en el diseño.

Figura 25. Pilaretes nuevo y antiguo.

Ya que las posiciones de los apoyos y el pestillo han cambiado, la chapa del amarre que sujeta toda la estructura de la pala al tractor ha de cambiarse totalmente.

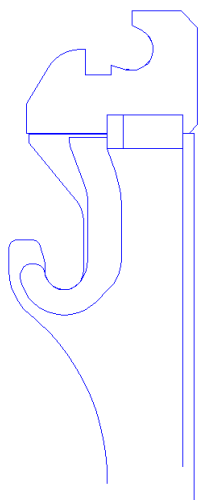


Figura 27. Perfil antiguo amarre.

Partiendo del amarre antiguo, se mantienen los puntos de apoyo del antiguo pilarete (ya que en el nuevo se han trasladado pero sin modificar la distancia entre ellos), y se trata de buscar un perfil que no presente interferencias con el nuevo modelo de pilarete y a la vez este quede bien sujeto al nuevo amarre.

Se puede observar en la Figura 27 que el perfil de la chapa es totalmente distinto al antiguo y que además incorpora la media arandela perteneciente al pestillo de la pala 320F.

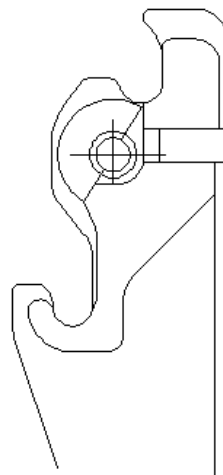


Figura 26. Perfil nuevo amarre.

Cuando se ha dicho que cada amarre es distinto para cada modelo de tractor, se hace referencia a que cada pieza del ensamblaje es distinta excepto la chapa principal del amarre que se encuentra rodeada en la figura 28. En este antiguo diseño de amarre, también había de ser modificada para varios casos en particular y solo se conservaba la parte superior donde engancha el pestillo. Lo que se busca principalmente con este cambio, es mantener un diseño fijo de la chapa principal, teniendo que realizar solamente el diseño particular de los demás elementos. Las imágenes 28 y 29 muestran dos amarres distintos, corroborando lo anteriormente dicho.

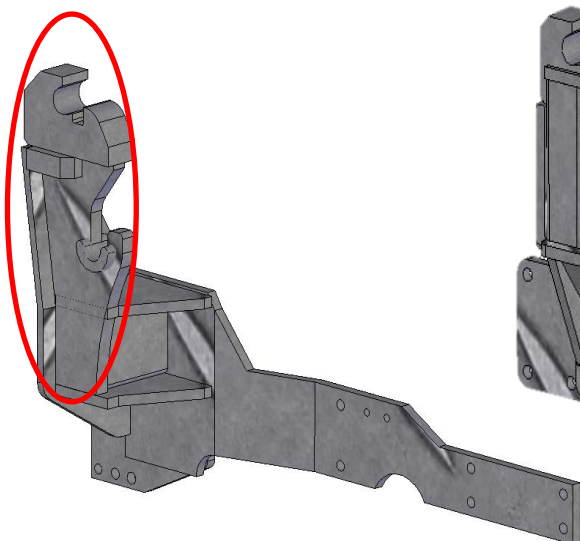


Figura 28. Amarre Claas Arion 410.

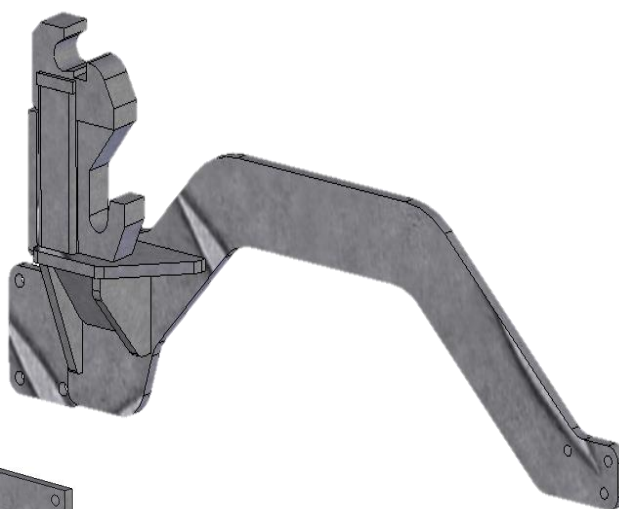


Figura 29. Amarre Fendt Vario 310.

La nueva chapa principal del amarre se muestra en la figura 30. Para la posterior realización de un cálculo estático realista, esta chapa se acoplará al amarre de la figura 28. El resultado de puede verse en la figura 31, amarre válido para ese tractor pudiendo acoplar una pala 410E con el nuevo pilarete.

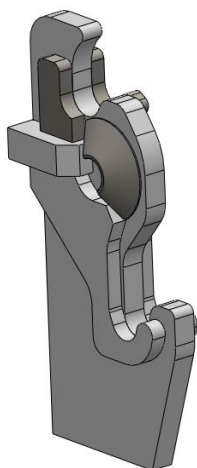


Figura 30. Chapa principal adaptada.

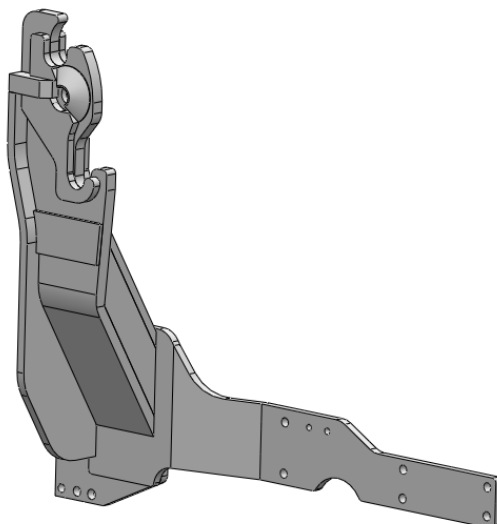


Figura 31. Amarre Claas Arion 410 adaptado.

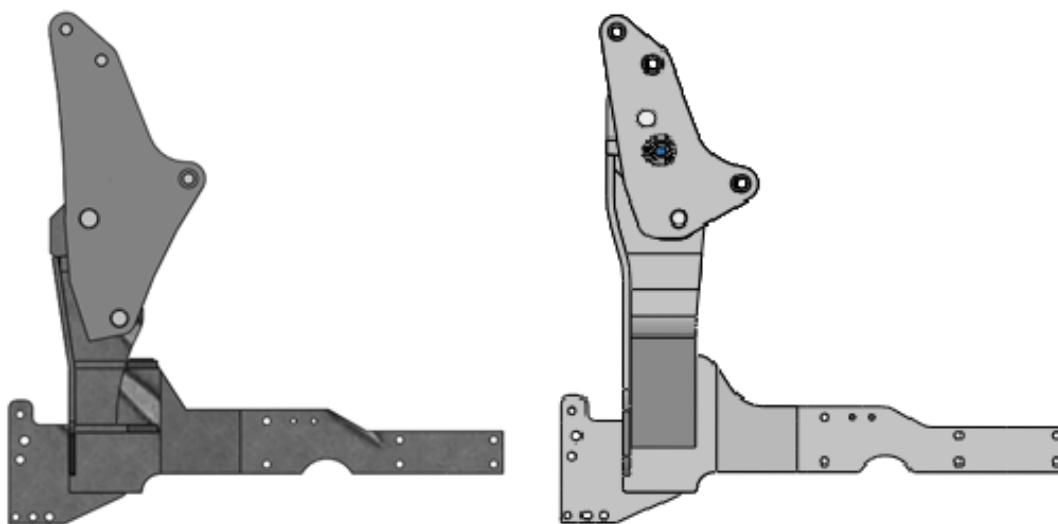


Figura 32. Conjunto de amarre + pilarete antiguo/nuevo.

En la figura 32 puede observarse una reducción de tamaño considerable del pilarete lo que deriva en una optimización de los materiales y del espacio disponible para el montaje, ya que es más fácil jugar con el espacio y las formas de las piezas que componen el amarre.



Figura 33. Tractor Claas Arion 410 con pala El León 410 E.

Para poder ver con más claridad todos los cambios realizados, se muestra una comparativa en la figura 34, la cual muestra una pala 410E completa con pilarete y amarre nuevo y antiguo respectivamente.

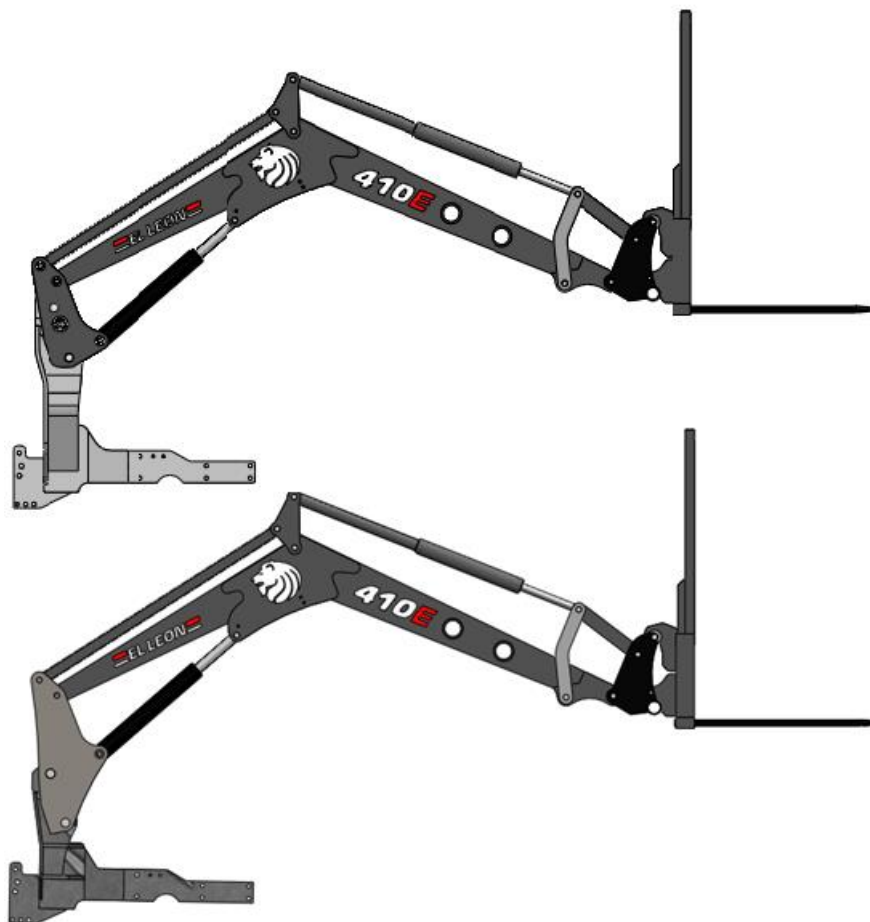


Figura 34. Comparación pala completa.

Finalmente, una vez diseñadas y ensambladas las dos piezas en 3 dimensiones, se procederá a realizar el análisis de tensiones que derivan en el pilarete y en el amarre. Antes será necesario realizar un análisis de fuerzas de todos los elementos que componen la pala para obtener las fuerzas que derivan en el pilarete y podrían debilitar el conjunto pilarete – amarre.

Todos estos cálculos finales se encuentran recogidos en el Anexo I.

4. CONCLUSIONES

En base a todo el trabajo realizado, se exponen las principales conclusiones alcanzadas. Éstas a su vez formarán la base del desarrollo de nuevos elementos introducidos en la pala y servirán para estudiar futuras modificaciones.

El objeto global de este proyecto es el estudio de la normativa actual de emisiones de gases a la atmósfera en los motores de vehículos agrícolas, el estudio de las tecnologías adoptadas para su cumplimiento y finalmente el modelado y análisis de los nuevos componentes de una pala frontal agrícola necesarios para adaptarse a las modificaciones estéticas impuestas en los distintos modelos de tractores.

Los nuevos componentes se han diseñado, tanto en papel, como mediante la integración de herramientas CAD/CAE en el proceso de diseño y fabricación. Con ello se han cubierto satisfactoriamente la mayoría de los aspectos considerados.

- ✓ Con respecto al estudio de la normativa de emisiones, quedan claras las restricciones impuestas por el Gobierno Central Europeo y la EPA (Environmental Protection Agency) así como su calendario y mecanismos de aplicación.
- ✓ Con respecto a las dos alternativas elegidas por las marcas fabricantes de vehículos agrícolas, se han expuesto sus componentes y su funcionamiento.
- ✓ Durante el diseño de los nuevos elementos se han cumplido las normas UNE-EN 12525, UNE-EN 292 y UNE-EN 1553 aplicables a los cargadores frontales agrícolas.
- ✓ Tras un estudio analítico previo y estableciendo las hipótesis de cálculo pertinentes, se han modelado en el programa SolidWorks los nuevos elementos que componen el mecanismo. Para su análisis es necesario considerar como hipótesis de trabajo el caso correspondiente a las condiciones más desfavorables entre todas las que existen (worst-case generalmente debida a un mal uso).
- ✓ El modelado en tres dimensiones de la pala en el programa SolidWorks, ha permitido realizar el análisis de tensión de von Mises, desplazamientos y factor de seguridad del sistema. La herramienta Simulation del mismo programa ha permitido conocer cuáles son los puntos de mayor tensión y por lo tanto más solicitados de cada uno de los nuevos componentes.
- ✓ Realizado el primer estudio en la posición definitiva, se verifica que no todos los componentes cumplen los criterios mínimos de resistencia. Para aquellos componentes que no cumplen dichos requisitos se han realizado y analizado las modificaciones oportunas, ya puede ser un cambio de material o la incorporación de un refuerzo si es posible.

Como conclusiones generales en el diseño y análisis de los nuevos elementos cabe destacar:

- ✓ Gracias a la información proporcionada por Maquinaria Agrícola El León S.A., se ha seleccionado un modelo concreto del cual se han tomado medidas reales a partir de planos en 2D de la máquina.
- ✓ Gracias a la utilización de la herramienta SolidWorks podemos verificar que a la hora de realizar un proyecto de diseño de una máquina, no solo es necesario realizar los cálculos analíticos sobre el papel, sino que además es necesario complementar dichos cálculos con estudios de simulación, para conocer cómo se comportaría la máquina en una situación muy próxima a la realidad. También será de gran ayuda la experiencia práctica así como los datos experimentales en banco de pruebas que en una empresa siempre se tienen muy en cuenta ya que todas y cada una de las innovaciones son ensayadas antes de su introducción en el mercado.

Finalmente, cabe destacar que este proyecto sigue en marcha y se siguen estudiando modificaciones en el diseño y en los materiales para evitar pequeños problemas de tensiones residuales obtenidos en este estudio de cara a su comercialización, ya que además de modernizar estéticamente la pala, constituye una reducción económica considerable en su fabricación. Como líneas de trabajo futuras cabría plantear una ampliación del análisis de los nuevos componentes en otras condiciones de carga como serían distintas posiciones, alturas, ángulos, etc... Así como considerar otras alternativas de diseño posibles.

5. BIBLIOGRAFÍAⁱ

- [1] «Environmental Protection Agency,»
<http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html>.
- [2] L. Márquez, «Los motores en los tractores agrícolas. Control de las emisiones contaminantes,» *Agro Técnica*, Diciembre 2003.
- [3] L. Márquez, «Soluciones Tecnológicas en los motores que permiten cumplir los niveles más estrictos de las normas anticontaminación.,» *Agro Técnica*, Abril 2012.
- [4] H. Catalán, «Motores: evolución moderna,» *Agro Técnica*, Febrero 2010.
- [5] A. M. P. B. Jaime de León, «Desafío Tier 4: nuevas preguntas, nuevas respuestas,» *Agro Técnica*, Febrero 2012.
- [6] «Fertiberia,» <http://www.fertiberia.es/>.
- [7] «John Deere,»
http://www.deere.es/es_ES/services_and_support/emissions_information/emissions_information.page?.
- [8] «AGCO Power,» <http://www.agcopower.com/products/agco-power-engines/>.
- [9] «Massey Ferguson,» <http://www.masseyferguson.es/>.
- [10] «Fendt,» <http://www.fendt.com/es/default.asp>.
- [11] «Maquinaria Agrícola El León S.A.,» <http://www.el-leon.es/>.
- [12] «Alö Front Loaders,» <http://www.alo.se/Intl/Pages/Startpage.ept>.
- [13] «Quicke Front Loaders,» <http://www.quicke.nu/Intl/Pages/Startpage.ept>.
- [14] «Trima Front Loaders,» <http://www.trima.nu/Intl/Pages/Startpage.ept>.
- [15] «Mailleux (MX),» <http://www.m-x.eu/es>.
- [16] «Stöll Front Loaders,» <http://www.stoll-germany.com/en/home.html>.
- [17] «Tenías,» <http://www.tenias.com/>.
- [18] «Roda Maquinaria Agrícola,» <http://www.rodamaquinaria.com/>.

-
- [19] «Palas BMH,» <http://www.bmh.es/>.
- [20] «Aenor,» <http://www.aenor.es>.
- [21] I. R. Abad, «Normativa aplicable a los cargadores frontales para tractores agrícolas,» *Agro Técnica*, Octubre 2001.
- [22] «Solidworks,» <http://www.solidworks.es/>.
- [23] «Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente,»
<http://www.magrama.gob.es/es/>.
- [24] P. C. M. J. A. B. Antonio Serrano Nicolás, Criterios de diseño de máquinas, 2013.
- [25] J. D. B. Cacho, *Resistencia de materiales*.

ⁱ Además de la bibliografía anteriormente mencionada se ha tenido acceso a todos los documentos técnicos de la empresa Maquinaria Agrícola El León S.A. (Planos, estudios anteriores, fotografías de montaje, etc.)